

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-015032

(43)Date of publication of application : 17.01.1997

(51)Int.CI.

G01H 3/08
 G01R 23/02
 G01R 23/16
 // G01S 3/80



(21)Application number : 07-167271

(71)Applicant : TECH RES & DEV INST OF JAPAN
DEF AGENCY
OKI ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 03.07.1995

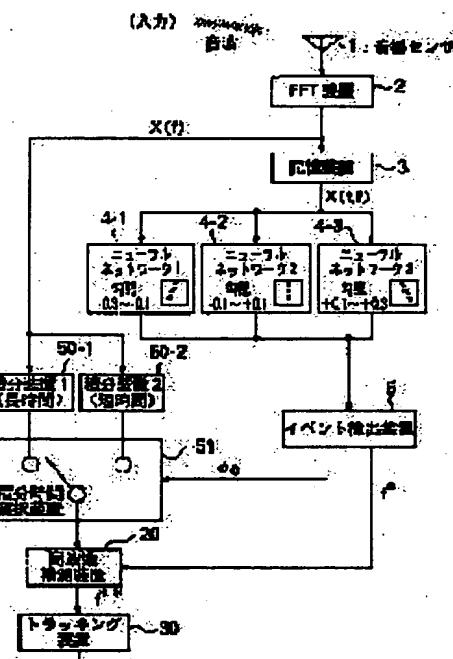
(72)Inventor : KATO TAKAHIRO
YAMASHITA MASATO
MIZOTA SUSUMU

(54) SIGNAL FREQUENCY TRACKING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve precision of the tracking of a signal frequency.

SOLUTION: An acoustic signal is received with an acoustic sensor 1, and the signal intensity distribution is obtained by applying high speed discrete Fourier transform or the like. A past constant frequency amount of the signal intensity distributions is stored in a storage device 3. Neural networks 4-1 to 4-3 show large output values when signals exist in inputs and gradients are present in the charge ranges of the neural networks. By detecting the maximum point concerning the frequency axis with an event detecting equipment 5, a narrow band signal is obtained, and the gradient of the signal is obtained. Time integration is performed for every frequency by using two integration equipments 50-1, 50-2 having different integration times. The integration time suitable for the measurement of a signal having gradient is selected with an integration time selecting equipment 51. A precisely measured frequency is obtained with a frequency precision measurement equipment 20, and a precisely measured frequency is time-sequentially tracked with a tracking equipment 30.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 03.07.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2842473
[Date of registration] 23.10.1998
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2842473号

(45)発行日 平成11年(1999)1月6日

(24)登録日 平成10年(1998)10月23日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 1 H 3/08
G 0 1 R 23/02
23/16
// G 0 1 S 3/80

識別記号

F I
G 0 1 H 3/08
G 0 1 R 23/02
23/16
G 0 1 S 3/80

Z

請求項の数4(全11頁)

(21)出願番号 特願平7-167271
(22)出願日 平成7年(1995)7月3日
(65)公開番号 特開平9-15032
(43)公開日 平成9年(1997)1月17日
審査請求日 平成7年(1995)7月3日

(73)特許権者 390014306
防衛庁技術研究本部長
東京都世田谷区池尻1丁目2番24号
(73)特許権者 000000295
沖電気工業株式会社
東京都港区虎ノ門1丁目7番12号
(72)発明者 加藤 隆広
神奈川県横須賀市長瀬3丁目12番2号
(72)発明者 山下 正人
東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
気工業株式会社内
(72)発明者 清田 享
東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
気工業株式会社内
(74)代理人 弁理士 柿本 恭成
審査官 新井 重雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 信号周波数追尾方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力信号に対して周波数分析を行って信号強度分布を求める周波数分析処理と、
前記信号強度分布を一定の時間にわたって蓄積する記憶処理と、
前記周波数分析処理により分析される各周波数毎に、該周波数の近傍に限った小部分の前記記憶処理により蓄積された信号強度分布を複数のニューラルネットワークに入力し、これらニューラルネットワークのおのおのが信号の時間に対する周波数の異なる勾配を担当し、これらの各ニューラルネットワークにより、入力中に時間に対する特定の周波数の勾配を持つ信号が示す直線状のパターンが存在するときに大きな数値を出力するパターン検出処理と、
前記複数のニューラルネットワークの出力について、各

周波数に対する出力の中で極大点となっており、かつ出力値が所定の閾値を超える値を持つ点を検出することで信号の存在を判定して、このような極大点の周波数を信号の周波数のおおまかな推定値とともに、該推定値とする周波数に対して最も大きな値を出力するニューラルネットワークの担当の勾配から信号の時間に対する周波数の勾配を算出するイベント検出処理と、
所定の複数の積分時間について、前記信号強度分布の周波数毎に積分して積分値を求める積分処理と、
前記イベント検出処理により算出された勾配に基づいて、前記積分処理により複数の積分時間でした積分値のうちいずれの積分値を採用するかを選択する積分時間選択処理と、
前記積分時間選択処理により採用された積分時間で積分された積分値に対して、前記イベント検出処理により検

出された信号の周波数のおおまかな推定値の近傍における極大点を探して、信号の周波数のより精密な推定値である精測周波数を求める周波数精測処理と、前記周波数分析処理から前記周波数精測処理を所定の時間毎に繰り返し、該周波数精測処理により求められた精測周波数を時間的に追尾するトラッキング処理とを、実行することを特徴とする信号周波数追尾方法。

【請求項2】 入力信号に対して周波数分析を行って信号強度分布を求める周波数分析処理と、

前記信号強度分布を一定の時間にわたって蓄積する記憶処理と、

前記周波数分析処理により分析される各周波数毎に、該周波数の近傍に限った小部分の前記記憶処理により蓄積された信号強度分布を複数のニューラルネットワークに入力し、これらニューラルネットワークのおのおのが信号の時間に対する周波数の異なる勾配を担当し、これらの各ニューラルネットワークにより、入力中に時間に対する特定の周波数の勾配を持つ信号が示す直線状のパターンが存在するときに大きな数値を出力するパターン検出処理と、

前記複数のニューラルネットワークの出力について、各周波数に対する出力の中で極大点となっており、かつ出力値が所定の閾値を越える値を持つ点を検出することで信号の存在を判定して、このような極大点の周波数を信号の周波数のおおまかな推定値とともに、該推定値とする周波数に対して最も大きな値を出力するニューラルネットワークの担当の勾配から信号の時間に対する周波数の勾配を算出するイベント検出処理と、

時間に対する所定の複数の周波数の勾配について、前記信号強度分布の周波数毎に、過去の時間から現在の時間までの前記勾配分の周波数の変化量だけ現在の周波数からずらした過去の周波数の信号強度に基づいて、所定の時間で積分して積分値を求める積分処理と、

前記積分処理で用いる複数の勾配のうち前記イベント検出処理による勾配の推定値に最も近いものを選択し、該選択された勾配に対応する前記積分処理による積分値を採用する積分勾配選択処理と、

前記積分勾配選択処理により選択された積分値に対して、前記イベント検出処理により検出された信号の周波数のおおまかな推定値の近傍における極大点を探し、信号の周波数のより精密な推定値である精測周波数を求める周波数精測処理と、

前記周波数分析処理から前記周波数精測処理を所定の時間毎に繰り返し、該周波数精測処理により求められた精測周波数を時間的に追尾するトラッキング処理とを、実行することを特徴とする信号周波数追尾方法。

【請求項3】 入力信号に対して周波数分析を行って信号強度分布を求める周波数分析処理と、

前記信号強度分布を一定の時間にわたって蓄積する記憶処理と、

前記周波数分析処理により分析される各周波数毎に、該周波数の近傍に限った小部分の前記記憶処理により蓄積された信号強度分布をニューラルネットワークに入力し、該ニューラルネットワークにより、入力中に信号が示す直線状のパターンが存在するときに大きな数値を出力するパターン検出処理と、

前記ニューラルネットワークの出力について、各周波数に対する出力の中で極大点となっており、かつ出力値が所定の閾値を越える値を持つ点を検出することで信号の存在を判定して、このような極大点の周波数を信号の周波数のおおまかな推定値とするイベント検出処理と、

前記周波数分析処理から前記イベント検出処理を所定の時間毎に繰り返し、該イベント検出処理により求められた信号の周波数の推定値を時間的に追尾するとともに、信号の時間に対する周波数の勾配を算出するトラッキング処理と、

所定の複数の積分時間についてそれぞれ前記信号強度分布の周波数毎に積分して積分値を求める積分処理と、前記トラッキング処理により算出された勾配に基づいて、前記積分処理による複数の積分時間で求めた積分値のうちいずれの積分値を採用するかを選択する積分時間選択処理と、

前記積分時間選択処理により採用された積分値に対して、前記トラッキング処理による追尾の結果として得られる周波数の推定値の近傍における極大点を探し、信号の周波数のより精密な推定値である精測周波数を求める周波数精測処理とを、

実行することを特徴とする信号周波数追尾方法。

【請求項4】 入力信号に対して周波数分析を行って信号強度分布を求める周波数分析処理と、

前記信号強度分布を一定の時間にわたって蓄積する記憶処理と、

前記周波数分析処理により分析される各周波数毎に、該周波数の近傍に限った小部分の前記記憶処理により蓄積された信号強度分布をニューラルネットワークに入力し、該ニューラルネットワークにより、入力中に信号が示す直線状のパターンが存在するときに大きな数値を出力するパターン検出処理と、

前記ニューラルネットワークの出力について、各周波数に対する出力の中で極大点となっており、かつ出力値が所定の閾値を越える値を持つ点を検出することで信号の存在を判定して、このような極大点の周波数を信号の周波数のおおまかな推定値とするイベント検出処理と、

前記周波数分析処理から前記イベント検出処理を所定の時間毎に繰り返し、該イベント検出処理により求められた信号の周波数の推定値を時間的に追尾するとともに、信号の時間に対する周波数の勾配を算出するトラッキング処理と、

時間に対する所定の複数の周波数の勾配について、前記信号強度分布の周波数毎に、過去の時間から現在の時間

までの前記勾配分の周波数の変化量だけ現在の周波数からずらした過去の周波数の信号強度に基づいて、所定の時間で積分して積分値を求める積分処理と、

前記積分処理で用いる複数の勾配のうち前記トラッキング処理により算出された勾配に最も近いものを選択し、該選択された勾配に対応する前記積分処理による積分値を採用する積分勾配選択処理と、

前記積分勾配選択処理により採用された積分値に対して、前記トラッキング処理による追尾の結果として得られる周波数の推定値の近傍における極大点を探し、信号の周波数のより精密な推定値である精測周波数を求める周波数精測処理とを、

実行することを特徴とする信号周波数追尾方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、音波等の入力信号に対して周波数分析を行うことにより得られる入力信号強度の周波数空間上の分布を用いて、特性が未知の狭帯域信号の周波数を時間的に継続して測定する信号周波数追尾方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図2は、従来のニューラルネットワークを用いて信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図である。図2を参照しつつ、従来の信号周波数追尾方法を説明する。入力信号としての音波が、音響センサ1によって受波されて、その音響信号がFFT(Fast Fourier Transformation、高速フーリエ変換)装置2に送られる。FFT装置2では、所定の時間S秒ごとに離散フーリエ変換を行い、所定の分析幅 Δf ごとの信号成分を算出して、その絶対値を求ることにより、時刻×周波数空間上の信号強度分布 $X(f)$ を得る。そして、この信号強度分布 $X(f)$ を積分装置10へ送る。また、周波数毎の信号強度分布 $X(f)$ を記憶装置3によって過去一定時間分蓄積することで、時刻×周波数の2次元空間上の信号強度分布 $X(t, f)$ が得られる。この信号強度分布 $X(t, f)$ は、所定の時間T秒ごとに作成され、ニューラルネットワーク4-1~4-3に送られる。

【0003】各ニューラルネットワーク4-i(i=1~3)はあらかじめ、入力中に直線状のパターンがあれば大きな値を出力するように学習されている。これは、例えば誤差逆伝搬法(バックプロパゲーション法)により、直線状のパターンが存在する入力に対して1、ランダムな入力に対して0を教師信号として学習することで実現できる。ニューラルネットワークと誤差逆伝搬法については、以下の文献に記載されている。

文献：麻生英樹著、「ニューラルネットワーク情報処理」、(1988)、産業図

ここで、信号の周波数が時間的に変化する度合を勾配と呼ぶことにする。ニューラルネットワーク4-1~4-

3は、それぞれ異なる範囲の勾配について分担して信号を検出する。例えば、ニューラルネットワーク4-1は勾配が-0.3~-0.1(Hz/秒)の範囲内にある信号を検出、同様にニューラルネットワーク4-2は-0.1~+0.1(Hz/秒)、ニューラルネットワーク4-3は+0.1~+0.3(Hz/秒)の勾配を持つ信号を検出する。

【0004】さて、各ニューラルネットワーク4-1~4-3には、時刻×周波数空間上の信号強度分布 $X(t, f)$ の中から、ある周波数を中心とする矩形の小部分を切り出したものを入力する。もし、該周波数に近い周波数を持つ狭帯域信号が存在しているならば、該小部分中には直線状のパターンが浮かび上がる所以、その勾配に対応したニューラルネットワークが大きな値の出力を示す。これを多数の周波数について繰り返し、その出力値をイベント検出装置5に送る。イベント検出装置5では、各ニューラルネットワーク4-1~4-3の出力の周波数軸に関する極大点を検出する。もし、いずれかのニューラルネットワーク4-1~4-3の出力がある周波数 f^* について極大値を示しており、しかもその値があらかじめ定められた閾値を越える場合、 f^* に近い周波数を持つ狭帯域信号が存在すると判定する。この周波数 f^* を周波数精度装置20へ送る。一方、積分装置10では、FFT装置2から受け取った周波数ごとの信号強度を時間的に積分する。この結果は、周波数精測装置20へ送られる。

【0005】周波数精測装置20では、イベント検出装置5から周波数 f^* を受取り、積分装置10から受け取った信号強度の積分値の該周波数 f^* を中心とした所定の幅を持つ区間にについて最大値を検出する。この最大値を示す周波数をもって信号周波数の精密な推定値(これを精測周波数と呼ぶ) f^{**} として、トラッキング装置30へ送る。トラッキング装置30では、所定の時間T秒ごとに周波数精測装置20から精測周波数 f^{**} を受け取り、これを追尾する。追尾の方法としては、例えば、精測周波数 f^{**} を観測値としてカルマンフィルタに入力し、信号の周波数を推定する方法がある。カルマンフィルタによる状態推定については、以下の文献に記載されている。

文献：谷萩著、「ディジタル信号処理の理論 3 推定・適応信号処理」、1986、コロナ社、P. 97~114

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の信号周波数追尾方法では、以下に説明するように、積分装置10で用いる積分時間の長さをさまざまな勾配を持つ信号に対しては適切に定めることができないという課題があった。図3(a)～(b)は、従来の信号周波数追尾方法の問題点を示す図であり、同図(a)は信号が勾配を持たない場合を示し、及び同図(b)は信号が勾

配を持つ場合を示している。図3(a)～(b)中の(a)は時刻×周波数空間上の信号強度分布、(イ)は積分時間長が短い場合の積分結果、及び(ウ)は積分時間長が長い場合の積分結果である。図3(a)に示すように、雑音は長時間にわたって積分するほど平均化するという性質をもつので、積分時間の短い(イ)よりも積分時間の長い(ウ)の方が雑音の影響が低減される。すなわち、長い積分時間を用いた方が、信号周波数の推定精度が高い。しかし、信号強度が雑音強度に比して十分大きい場合、すなわちS/N(信号対雑音比)が高い場合は積分時間を長くしても精度が上がりず、かえって信号の追随性が劣化する場合があるが、信号の検出及び追尾にニューラルネットワークを用いるのは微弱な信号を捕らえることを目的とするものであるから、ここではS/Nは十分低いものと考える。

【0007】一方、図3(b)は、信号が勾配を持つ場合について例示したものである。この場合は、信号の周波数が時間とともに変化することから、積分時間が長いと現在の時刻での信号の強度のピークの周波数と過去の信号のピークの周波数が勾配によりずれるために、現在の時刻のピークの周波数の近傍の周波数では、過去の信号のピークが反映されるようになる。そのため、信号の局限性が低下する。よって、短い積分時間を用いる(イ)の方が、長い積分時間を用いる(ウ)よりも信号周波数の推定精度が高い。さて、従来の方法において、信号が勾配を持つ場合と持たない場合のどちらにも対応するには積分時間をどれほどに設定すればよいかを考える。長い積分時間を用いるなら、勾配のない信号については精度よく周波数が得られる。しかし、勾配のある信号については、局限性の低下により精度が劣化する。逆に、もし短い積分時間を用いるならば、勾配のある信号については精度の劣化を防ぐことができるが、勾配のない信号については(より長い積分時間を用いれば向上するにもかかわらず)精度が抑えられる。以上のように、従来の信号周波数追尾方法では、信号周波数を精測するための積分時間を、ある特定の勾配信号に対してのみ最適に定めるほかなく、あるゆる勾配の信号に対して満足な精度が得られなかった。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明のうちの第1の発明は、信号周波数追尾方法において、入力信号に対して周波数分析を行って信号強度分布を求める周波数分析処理と、前記信号強度分布を一定の時間にわたって蓄積する記憶処理と、前記周波数分析処理により分析される各周波数毎に、該周波数の近傍に限った小部分の前記記憶処理により蓄積された信号強度分布を複数のニューラルネットワークに入力し、これらニューラルネットワークのおのおのが信号の時間に対する周波数の異なる勾配を担当し、これらの各ニューラルネットワークにより、入力中に時間に対する特定の

周波数の勾配を持つ信号が示す直線状のパターンが存在するときに大きな数値を出力するパターン検出処理とを実行する。そして、前記複数のニューラルネットワークの出力について、各周波数に対する出力の中で極大点となっており、かつ出力値が所定の閾値を越える値を持つ点を検出することで信号の存在を判定して、このような極大点の周波数を信号の周波数のおおまかな推定値とするとともに、該推定値とする周波数に対して最も大きな値を出力するニューラルネットワークの担当の勾配から信号の時間に対する周波数の勾配を算出するイベント検出処理を実行する。さらに、所定の複数の積分時間について、前記記憶処理により記憶された信号強度分布の周波数毎に積分して積分値を求める積分処理と、前記イベント検出処理により算出された勾配に基づいて、前記積分処理により複数の積分時間でした積分値のうちいずれの積分値を採用するかを選択する積分時間選択処理と、前記積分時間選択処理により採用された積分時間で積分された積分値に対して、前記イベント検出処理により検出された信号の周波数のおおまかな推定値の近傍における極大点を探して、信号の周波数のより精密な推定値である精測周波数を求める周波数精測処理と、前記周波数分析処理から前記周波数精測処理を所定の時間毎に繰り返し、該周波数精測処理により求められた精測周波数を時間的に追尾するキャッシング処理とを実行する。

【0009】第2の発明は、信号周波数追尾方法において、入力信号に対して周波数分析を行って信号強度分布を求める周波数分析処理と、前記信号強度分布を一定の時間にわたって蓄積する記憶処理と、前記周波数分析処理により分析される各周波数毎に、該周波数の近傍に限った小部分の前記記憶処理により蓄積された信号強度分布を複数のニューラルネットワークに入力し、これらニューラルネットワークのおのおのが信号の時間に対する周波数の異なる勾配を担当し、これらの各ニューラルネットワークにより、入力中に時間に対する特定の周波数の勾配を持つ信号が示す直線状のパターンが存在するときに大きな数値を出力するパターン検出処理とを実行する。そして、前記複数のニューラルネットワークの出力について、各周波数に対する出力の中で極大点となっており、かつ出力値が所定の閾値を越える値を持つ点を検出することで信号の存在を判定して、このような極大点の周波数を信号の周波数のおおまかな推定値とするとともに、該推定値とする周波数に対して最も大きな値を出力するニューラルネットワークの担当の勾配から信号の時間に対する周波数の勾配を算出するイベント検出処理と、時間に対する所定の複数の周波数の勾配について、前記信号強度分布の周波数毎に、過去の時間から現在の時間までの前記勾配分の周波数の変化量だけ現在の周波数からずらした過去の周波数の信号強度に基づいて、所定の時間で積分して積分値を求める積分処理とを実行する。さらに、前記積分処理で用いる複数の勾配のうち前

記イベント検出処理による勾配の推定値に最も近いものを選択し、該選択された勾配に対応する前記積分処理による積分値を採用する積分勾配選択処理と、前記積分勾配選択処理により選択された積分値に対して、前記イベント検出処理により検出された信号の周波数のおおまかな推定値の近傍における極大点を探し、信号の周波数より精密な推定値である精測周波数を求める周波数精測処理と、前記周波数分析処理から前記周波数精測処理を所定の時間毎に繰り返し、該周波数精測処理により求められた精測周波数を時間的に追尾するトラッキング処理とを実行する。

【0010】

【作用】第1の発明によれば、以上のように信号周波数追尾方法を構成したので、複数のそれぞれ異なる信号の勾配を担当するニューラルネットワークにより、入力中に特定の周波数の勾配を持つ信号が示す直線状のパターンが存在するときに大きな数値を出力する。そして、イベント検出処理により複数のニューラルネットワークの出力について、各周波数に対する出力の中で極大点となっており、かつ出力値が所定の閾値を越える値を持つ点を検出することで信号の存在を判定して、このような極大点の周波数を信号の周波数のおおまかな推定値とともに、該推定値とする周波数に対して最も大きな値を出力するニューラルネットワークの担当の勾配から信号の周波数の勾配を算出する。積分処理により、所定の複数の積分時間について、記憶処理により記憶された信号強度分布周波数毎に積分して積分値を求め、積分時間選択処理により、イベント検出処理により算出された勾配に基づいて、積分処理により複数の積分時間で求めた積分値のうちいずれの積分値を採用するかを選択することによって、雑音の影響と信号の局限性とを考慮した最適な積分時間で積分された積分値が選択される。

【0011】第2の発明によれば、積分処理により、周波数の複数の勾配のそれについて、信号強度分布の周波数毎に、過去の時間から現在の時間までの勾配分の周波数の変化量だけ現在の周波数からずらした過去の周波数の信号強度に基づいて、所定の時間の積分時間で積分値を求める。これにより、現在と過去の信号のピークを合わせることができて、信号の局限性が保たれる。そして、トラッキング処理により算出した信号の勾配に応じて、最適な勾配で積分した積分値を選択する。従つて、前記課題を解決できるのである。

【0012】

【実施例】第1の実施例

図1は、本発明の第1の実施例を示す信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図であり、図2中の要素と共通の要素には共通の符号が付されている。本第1の実施例の信号周波数追尾方法が従来の方法と異なる点は、積分時間の異なる複数の積分装置の出力から、信号の勾配に応じてその最適な積分時

間で積分した積分装置の出力を周波数精測装置により精測周波数を求めるようにしたことである。この信号周波数追尾装置は、入力信号を受波する音響センサ1を有している。音響センサ1の出力側には、FFT装置2が接続されている。FFT装置2の出力側には、記憶装置3と、長時間にわたって積分する積分装置50-1と、短い時間にわたって積分する積分装置50-2とが接続されている。記憶装置3の出力側には、時間に対する周波数の勾配に応じたニューラルネットワーク4-1～4-3が接続されている。各ニューラルネットワーク4-1～4-3の出力側にはイベント検出装置5が接続されている。イベント検出装置5及び積分装置50-1, 50-2の出力側には、積分時間選択装置51が接続されている。イベント検出装置5及び積分時間選択装置51の出力側には、周波数精測装置20が接続されている。周波数精測装置20の出力側には、トラッキング装置30が接続されている。次に、図1を参照しつつ、本第1の実施例の信号周波数追尾方法の処理(I)～(VIII)の内容を説明する。

【0013】(I) 周波数分析処理

音響センサ1によって音響信号を受波して、FFT装置2に送る。FFT装置2では、所定の時間間隔(S秒とする)ごとに、所定の周波数分析幅(Δf Hzとする)で高速離散フーリエ変換を行い、周波数ごとに絶対値をとることで信号強度分布を得る。これを $[X(f) | f = f_1, f_2, \dots, f_N]$ とする。

【0014】(II) 記憶処理

記憶装置3は、FFT装置2から受け取った信号強度分布の過去一定回数(r回とする)分を記憶する。これにより、時間×周波数空間上の信号強度分布 $[X(t, f) | t = t_0 - (r-1)S, \dots, t_0 - S, t_0 : f = f_1, f_2, \dots, f_N]$ が得られる。この信号強度分布から、各周波数 $f_n = f_1, \dots, f_N$ について、 f_n を中心とする小区画 $[X(t, f) | t = t_0 - (r-1)S, \dots, t_0 - S, f = f_{n-\omega}, \dots, f_{n+\omega}]$ (ここでは、小区間の大きさを周波数分析幅の $2\omega + 1$ 倍とした)をニューラルネットワーク4-1～4-3に送る。

【0015】(III) パターン検出処理

ニューラルネットワーク4-1～4-3は、おのおのが異なる勾配の入力信号を分担する。たとえば、ニューラルネットワーク4-1は勾配が-0.3～-0.1(Hz/秒)の範囲の信号を検出するようあらかじめ学習を施しておく。同様に、ニューラルネットワーク4-2は-0.1～+0.1、ニューラルネットワーク4-3は+0.1～+0.3の勾配の信号を担当する。学習方法としては、例えば、バックプロパゲーション法を用いて、担当する勾配の信号が入力中にあれば(入力中に直線状のパターンがある場合)1、そうでなければ0を出力するように学習を行う。これらのニューラルネットワ

一ク4-1～4-3に記憶装置3から送られる時間×周波数空間上の信号強度分布の小区画を入力する。ニューラルネットワーク4-1～4-3では、入力中に信号が存在して、しかも勾配がニューラルネットワーク担当範囲内である場合に、出力値が大きな値を示す。もし、ある周波数 f^* に近い周波数を持つ狭帯域信号が存在しているならば、小区分中には直線状のパターンが浮かび上がるるので、その勾配に対応したニューラルネットワークが大きな値の出力を示す。これを多数の周波数について繰り返し、その全てのニューラルネットワーク4-1～4-3の出力をイベント検出装置5に送る。

【0016】(IV) イベント検出処理

イベント検出装置5では、各ニューラルネットワーク4-1～4-3の出力の周波数軸に関する極大点を検出す。もし、いずれかのニューラルネットワーク4-1～4-3の出力がある周波数 f^* について極大値を示しており、しかもその値があらかじめ定められた閾値を越える場合、 f^* に近い周波数を持つ狭帯域信号が存在すると判定する。この周波数 f^* を信号のおおまかな推定周

$$Y_U(t, f) = X(t, f) + X(t-1, f)$$

ここで、積分時間 U を適切に定める方法について述べる。勾配の絶対値が ΔU (Hz/秒) の信号は、時間 U が経過する間に $\Delta U \cdot U$ (Hz) の周波数変化を示す。よって、 $\Delta U \cdot U$ を周波数分析幅 Δf と比べて、 $\Delta U < \Delta f$ である限りは U が増加するにつれて雑音が抑制され信号の測定精度が向上するが、 $\Delta U > \Delta f$ であると信号の局極性が低下する。すなわち、最適な積分時間 U は $\Delta f / \Delta U$ である。

【0018】本第1の実施例では、積分装置50-1における積分時間 U_1 をニューラルネットワーク4-2の担当する信号の勾配の最大絶対値 0.1 (Hz/秒) に合わせて $U_1 = \Delta f / 0.1$ (秒) と定める。また、ニューラルネットワーク4-1及び4-3の担当する信号の勾配の絶対値は最大 0.3 (Hz/秒) であるので、積分装置50-2における積分時間 U_2 を $U_2 = \Delta f / 0.3$ (秒) と定める。

【0019】(VI) 積分時間選択処理

積分時間選択装置51では、イベント検出装置5で検出された信号の勾配 ΔU を受け取り、該勾配 ΔU を持つ信号の測定に適した積分時間を選択する。具体的には、もし該勾配 ΔU がニューラルネットワーク4-2の担当範囲 $-0.1 \sim +0.1$ (Hz/秒) の内部にあれば、積分装置50-1の結果を採用し、そうでなければ積分装置50-2の結果を採用する。採用されたほうの信号強度分布が周波数精測装置20へ送られる。

【0020】(VII) 周波数精測処理

周波数精測装置20では、イベント検出装置5から信号のおおまかな推定周波数 f^* を受け取り、積分時間選択装置51で選択された信号強度分布 $[Y_{Ui0}(f) \mid f = f_{0-\varepsilon}, \dots, f_{0+\varepsilon}]$ (ここでは、範囲の幅を $2\varepsilon + 1$

波数とし、これを周波数精度装置20へ送る。また、この信号の勾配を各ニューラルネットワーク4-1～4-3の出力値を比較することにより推定する。この方法としては、おおまかな推定周波数 f^* に対して、最も大きな値を出力するニューラルネットワーク4-kを探して、該ニューラルネットワーク4-kが担当する勾配の区間 $[d_{fk-1} \sim d_{fk}]$ の中心値 $(d_{fk-1} + d_{fk}) / 2$ をもって、勾配 ΔU の推定値とする。勾配の推定値 ΔU は積分時間選択装置51へ送られる。

【0017】(V) 積分処理

一方、積分装置50-1～50-2では、周波数ごとの信号強度 $X(f)$ をFFT装置2から受け取り、各周波数ごとに時間的に積分を行う。例えば、積分時間 U (秒) で積分を行うには、 $v = \text{int}(U/\Delta f)$ (Δf は高速フーリエ変換の時間間隔、 $\text{int}()$ は四捨五入による整数化を表す) として、過去 v 回分の信号強度を加算する。すなわち、時刻 t における出力 $[Y_U(t, f) \mid f = f_1, \dots, f_N]$ を次式(1)により算出する。

$$+ \dots + X(t-(v-1)\Delta f, f) \quad \dots \quad (1)$$

倍とした)において $Y_{Ui0}(f)$ に最大値を与える周波数 f^{**} を、該信号の精測周波数とする。精測周波数 f^{**} はトラッキング装置30へ送られる。

【0021】(VIII) トラッキング処理

トラッキング装置30では、周波数精測装置20から送られる精測周波数 f^{**} を時間的に追尾する。以上のように、本第1の実施例では、長短の積分時間を用いて信号強度分布を積分した結果を積分時間選択装置51で選択して用いるので、勾配の小さな信号は長い積分時間を、勾配の大きな信号は短い積分時間を用いた積分の結果に基づいて、周波数精測することができる。したがって、精度良く周波数を推定することができる。

【0022】第2の実施例

図4は、本発明の第2の実施例を示す信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図であり、図1中の要素と共通の要素には共通の符号が付されている。本第2の実施例の信号周波数追尾方法が第1の実施例と異なる点は、勾配付けた積分を複数通り行い、検出した信号の勾配に応じて積分結果を選択するようにしたことである。この信号周波数追尾装置は、音響センサ1を有している。音響センサ1の出力側には、FFT装置2が接続され、さらにそのFFT装置2の出力側には、記憶装置3及び勾配付き積分装置60-1～60-3が接続されている。記憶装置3の出力側には、時間に対する周波数の勾配に応じたニューラルネットワーク4-1～4-3が接続されている。各ニューラルネットワーク4-1～4-3の出力側には、イベント検出装置5が接続されている。イベント検出装置5及び勾配付き積分装置60-1～60-3の出力側には、積分勾配選択装置61が接続されている。イベント検出装置5

及び積分勾配選択装置61の出力側には、周波数精測装置20が接続されている。周波数精測装置20の出力側には、トラッキング装置30が接続されている。

【0023】次に、図4を参照しつつ、本第2の実施例の信号周波数追尾方法を説明する。第1の実施例と同様に、音響センサ1によって音響信号を受波してから、FFT装置2により高速フーリエ変換を行い、絶対値に変換し、記憶装置3によりFFT装置2から受け取った信号強度分布の過去一定回数(r 回とする)分を記憶する。さらに、第1の実施例と同様に、ニューラルネットワーク4-1~4-3及びイベント検出装置5によって信号の存在を検出する。その後、以下の処理(i)~(iv)が行われる。

$$Z\phi(t, f) = X(t, f) + X(t-S, f-S\phi) + \cdots + X(t-(v-1)S, f-(v-1)S\phi) \dots \quad (2)$$

ここで、フーリエ変換を行う時間間隔S(秒)と累加回数 $v=U/S$ は、第1の実施例と同様のものである。本第2の実施例においては3個のニューラルネットワーク4-1~4-3を用いて、勾配を3区間[-0.3, -0.1], [-0.1, +0.1], [+0.1, +0.3]に分けて分担することにしたので、3個の勾配付き積分装置60-1~60-3では、それぞれ該3区間の中心-0.2, 0.0, +0.2(Hz/秒)を勾配 ϕ として用いることにする。

【0025】(ii) 積分時間勾配選択処理

積分勾配選択装置61では、イベント検出装置5からの信号の勾配 ϕ_0 を受け取り、該勾配 ϕ_0 に最も近い勾配で積分を行った結果を勾配付き積分装置60-1~60-3から選択する。例えば、もしこの勾配 ϕ_0 がニューラルネットワーク4-1の担当範囲-0.3~-0.1(Hz/秒)に入っていたら、-0.2(Hz/秒)の勾配を持って積分を行った結果を採用する。採用された信号強度分布が周波数精測装置20へ送られる。

【0026】(iii) 周波数精測処理

周波数精測装置20では、第1の実施例と同様に、イベント検出装置5から信号のおおまかな推定周波数 f^* を受け取り、積分時間勾配選択装置61で選択された信号強度分布に最大値を与える周波数 f^{**} を、該信号の精測周波数とする。精測周波数 f^{**} はトラッキング装置30へ送られる。

【0027】(iv) トラッキング処理

トラッキング装置30では、周波数精測装置20から送られる精測周波数 f^{**} を時間的に追尾する。以上説明したように、本第2の実施例によれば、長い積分時間で周波数軸上を勾配によってずらしながら信号強度分布を積分し、その結果を積分勾配選択装置61で選択して用いるので、勾配を持った信号に対しても信号周波数の極限性を劣化させることなく長い積分時間を用いることができる。そのため、精測周波数を精度良く求めることができる。

【0024】(i) 積分処理

勾配付き積分装置60-1~60-3では、周波数ごとの信号強度 $X(f)$ をFFT装置2から受け取り、各周波数ごとに時間的に積分を行う。積分時間 U としては、長い積分時間を用い、例えば第1の実施例で述べた U_1 (秒)を使用する。各勾配付き積分装置60-1~60-3はそれぞれ異なる勾配を担当し、過去の信号強度を周波数軸上で担当する勾配によりずらしながら積分する。例えば、勾配 ϕ (Hz/秒)の信号を担当する勾配付き積分装置で、時刻 t における出力 $[Z\phi(t, f) | f = f_1, f_2, \dots, f_N]$ を次式(2)のようにして算出する。

【0028】第3の実施例

図5は、本発明の第3の実施例を示す信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図であり、図1中の要素と共に要素には共通の符号が付されている。本第3の実施例の信号周波数追尾方法が第1の実施例と異なる点は、信号強度分布を長い積分時間と短い積分時間でそれぞれ積分し、その積分結果をトラッキング装置30により予測された周波数の勾配により選択するようにしたことである。この信号周波数追尾装置は、音響センサ1を有している。音響センサ1の出力側には、FFT装置2が接続されている。FFT装置2の出力側には、記憶装置3と、長時間にわたって積分する積分装置50-1と、短い時間にわたって積分する積分装置50-2とが接続されている。記憶装置3の出力側には、時間に対する周波数の勾配に応じたニューラルネットワーク4-1~4-3が接続されている。各ニューラルネットワーク4-1~4-3の出力側には、イベント検出装置5が接続されている。イベント検出装置5の出力側には、トラッキング装置30が接続されている。トラッキング装置30及び積分装置50-1~50-2の出力側には、積分時間選択装置51が接続されている。積分時間選択装置51の出力側には、周波数精測装置20が接続されている。次に、図5を参照しつつ、本第3の実施例の信号周波数追尾方法を説明する。第1の実施例と同様に、音響センサ1によって音響信号を受波してから、イベント検出装置5によって信号の存在を検出し、積分装置50-1, 50-2によって長短の積分時間を用いて信号強度分布をそれぞれ積分する。その後、以下の処理(a)~(c)が行われる。

【0029】(a) トラッキング処理

トラッキング装置30では、イベント検出装置5から受け取った信号のおおまかな周波数を観測値としたカルマンフィルタを用いて、信号の周波数 f と勾配 ϕ を推定する。求めた周波数の推定値 f を周波数精測装置20へ送るとともに、勾配の推定値 ϕ を積分時間選択装置

51へ送る。

【0030】(b) 積分時間選択処理

積分時間選択装置51では、トラッキング装置30から勾配の推定値 α_1 を受け取り、該勾配 α_1 を持つ信号の測定に適した積分時間を選択して、信号強度分布を周波数精測装置20へ送る。

【0031】(c) 周波数精測処理

周波数精測装置20では、トラッキング装置30から周波数の推定値 f を受け取るとともに、積分時間選択装置51で選択された信号強度分布を受け取り、第1の実施例と同様に、該周波数 f の推定値を中心とする所定の範囲において信号強度分布が最大値を示す周波数を精測周波数とする。以上説明したように、本第3の実施例によれば、追尾の後に周波数精測を行う場合であっても、第1の実施例と同様に、長短の積分時間を用いて信号強度分布を積分した結果を選択して精測に用いることができる。なお、本発明は、上記実施例に限定されず種々の変形が可能である。その変形例としては、例えば次のようなものがある。

【0032】(1) 図1、図4及び図5中の音響センサ1を除く各ブロックは、それぞれ電気回路で実現してもよいし、あるいはそれらの一部または全部をコンピュータプログラムで実現してもよい。

(2) 第1～第3の実施例では、入力信号を音波としたが、本発明はそれに限定されない。例えば、入力信号を電波とした場合、図1、図4及び図5のいずれにおいても音響センサ1の代わりに受信アンテナを用いることで同様に機能する。

(3) 第1～第3の実施例で示したニューラルネットワーク4-1～4-3の個数は一例である。第1の実施例におけるニューラルネットワークは3個以上（2個のニューラルネットワークで「正の勾配」、「負の勾配」を担当する場合は、絶対値は変わらないから積分時間が一定でよく、分担する勾配の絶対値に大小の差がある時に3個以上が必要となる）、第2の実施例におけるニューラルネットワークは2個以上（分担する勾配が複数通りある場合に有効となるため）、第3の実施例におけるニューラルネットワークは1個以上（トラッキング装置30により過去のイベントの履歴から勾配が推定されるので、ニューラルネットワークが勾配を分担しなくても複数通りの勾配が推定される）であれば、何個であつてもよい。

(4) 図4中のトラッキング装置30をイベント検出

装置5の出力側に接続し、該トラッキング装置30の出力側に、積分勾配選択装置61と周波数精測装置20を接続するような構成にしてもよい。この場合、積分勾配選択装置61は、トラッキング装置30によって追尾された周波数の勾配によって勾配付き積分装置60-1～60-3の積分値を選択し、周波数精測装置20は、トラッキング装置30により追尾した周波数の推定値と勾配付き積分装置60-1～60-3の積分値とにより精測周波数を求めて、この精測周波数を精測な周波数の追尾結果とする。

【0033】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、第1及び第3の発明によれば、積分時間を信号周波数の勾配に応じて選択するようにしたので、信号の周波数の追尾の精度が向上する。第2及び第4の発明によれば、信号周波数の勾配に応じてずらして積分するようにしたので、信号の周波数の追尾の精度が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図である。

【図2】従来の信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図である。

【図3】従来の信号周波数追尾方法の問題点を示す図である。

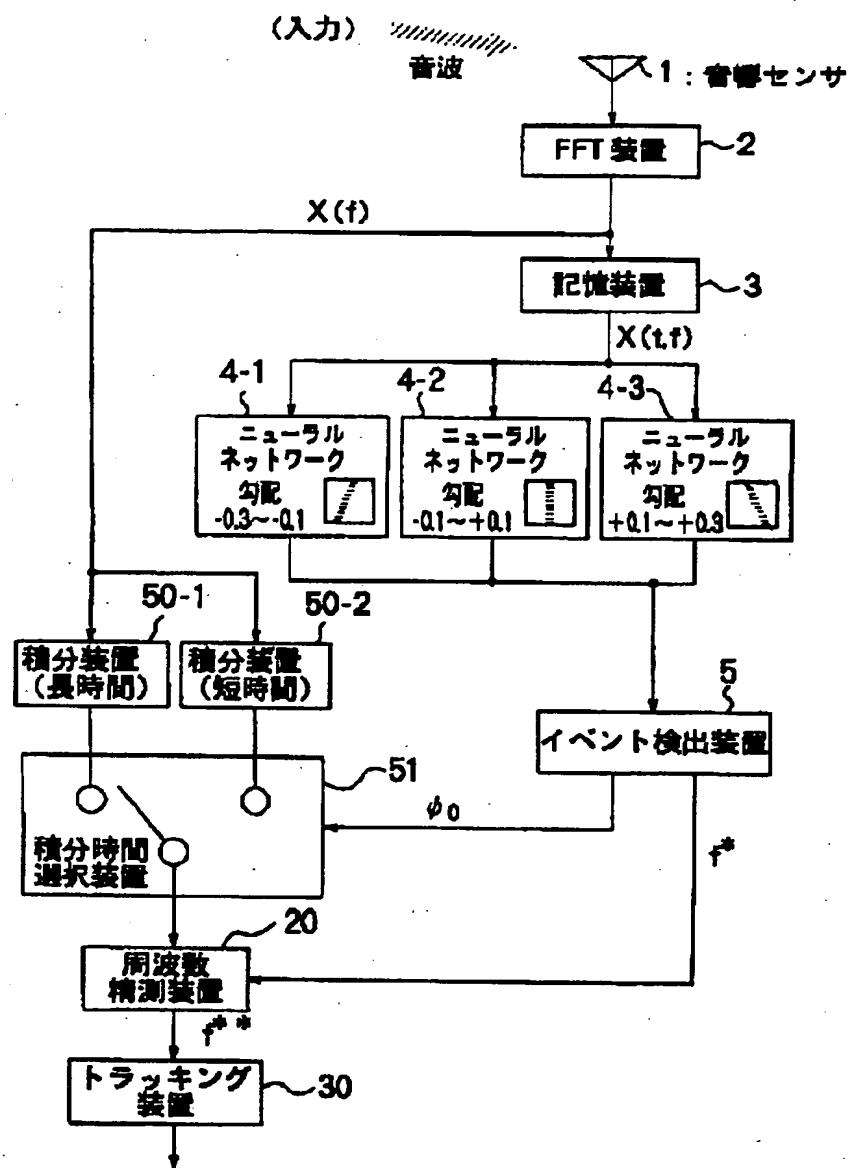
【図4】本発明の第2の実施例の信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図である。

【図5】本発明の第3の実施例の信号周波数追尾方法を実施するための信号周波数追尾装置の機能ブロック図である。

【符号の説明】

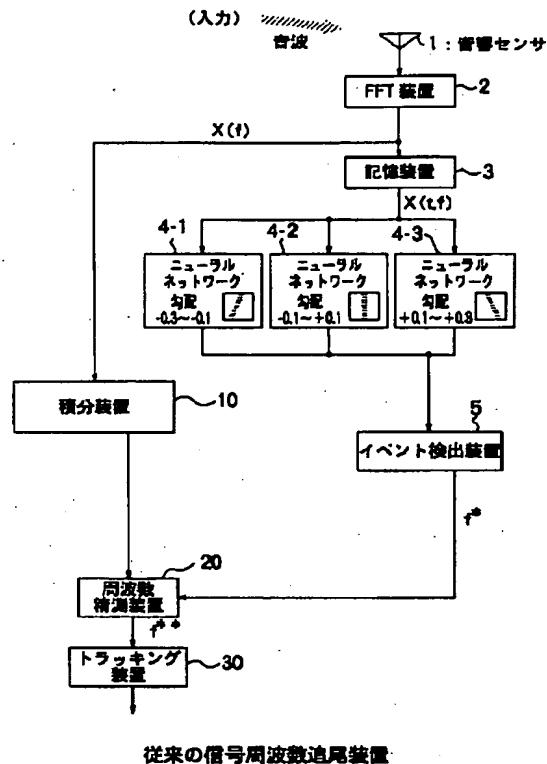
1	音響センサ
2	FFT装置
3	記憶装置
4-1, 4-2, 4-3	ニューラルネットワーク
5	イベント検出装置
20	周波数精測装置
30	トラッキング装置
50-1, 50-2	積分装置
51	積分時間選択装置
60-1, 60-2, 60-3	積分装置
61	積分勾配選択装置

【図1】

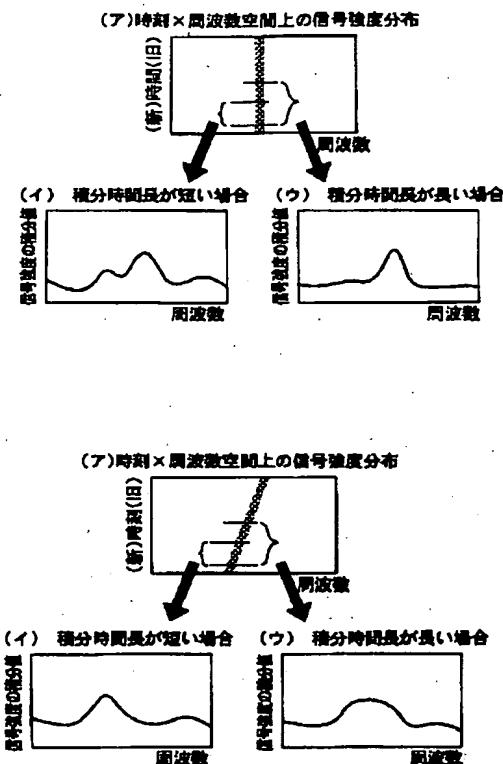


本発明の第1の実施例の信号周波数追尾装置

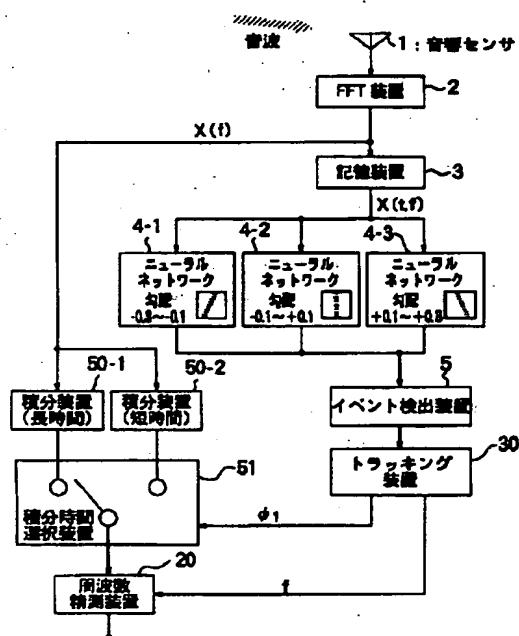
【図2】



【図3】



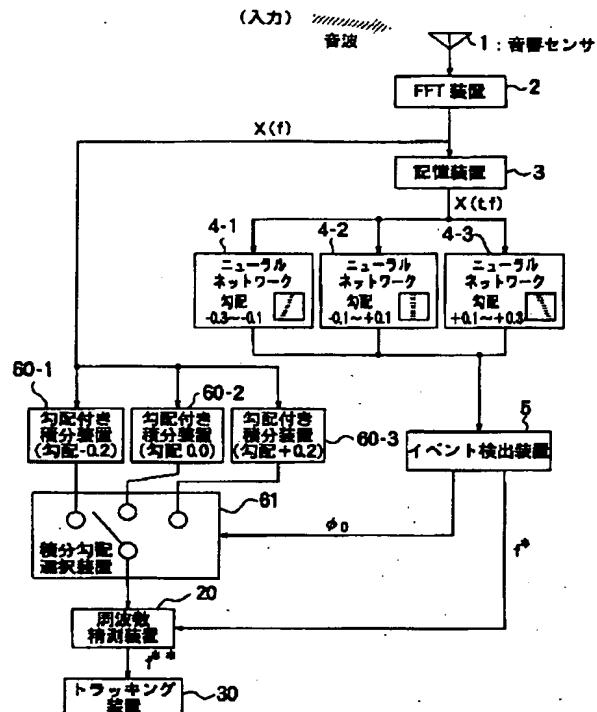
【図5】



従来の信号周波数追尾方法の問題点

本発明の第3の実施例の信号周波数追尾装置

【図4】



フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 昭58-139084 (J P, A)
 特開 平2-205790 (J P, A)
 特開 平4-276523 (J P, A)
 特開 平5-273326 (J P, A)

(58) 調査した分野 (Int. Cl. 6, D B名)
 G01H 3/08
 G01R 23/02
 G01R 23/16
 G01S 3/80